

Cadenas de Suministro Inteligentes para Productos Agrícolas: Tecnologías Clave, Progreso de Investigación y Dirección Futura

Autores: HAN Jiawei^{1,2,3}, YANG Xinting^{1,2,3*}

¹ Centro de Investigación de Tecnología de la Información, Academia de Ciencias Agrícolas y Forestales de Beijing, Beijing 100097, China

² Laboratorio Nacional de Ingeniería para Trazabilidad de Calidad de Productos Agrícolas, Beijing 100097, China

³ Laboratorio Clave de Tecnología de Logística de Cadena de Frío para Productos Agrícolas, Ministerio de Agricultura y Asuntos Rurales, Beijing 100097, China

*Autor correspondiente: YANG Xinting, E-mail: yangxt@nercita.org.cn

Resumen

[Objetivo/Significado] La transformación inteligente de las cadenas de suministro de productos agrícolas es una vía clave para resolver los problemas tradicionales de brechas de información, altos costos logísticos y trazabilidad de calidad difícil. Es de gran importancia para mejorar la eficiencia, garantizar la calidad y seguridad, y la modernización agrícola. Este artículo analiza sistemáticamente su connotación, revisa el progreso tecnológico en varios eslabones y propone direcciones de desarrollo.

[Progreso] Este artículo revisa comprehensivamente el progreso de investigación de tecnologías clave en la cadena de suministro inteligente de productos agrícolas a través de los eslabones de producción, procesamiento, almacenamiento, transporte, distribución y ventas. El eslabón de producción integra tecnologías del Internet de las Cosas (IoT), Inteligencia Artificial (IA) y blockchain para lograr toma de decisiones precisa y control de plagas; el eslabón de procesamiento se basa en clasificación inteligente y nuevas tecnologías de limpieza y esterilización para mejorar la calidad; el almacenamiento utiliza monitoreo IoT e IA para optimizar la gestión de inventarios y mejorar la eficiencia; el transporte se enfoca en innovación de tecnología de cadena de frío y optimización de sistemas de programación

inteligente para eficiencia de entrega; el extremo de ventas utiliza big data y tecnología IA para impulsar marketing de precisión y gestión de inventarios, con trazabilidad de cadena completa asegurando transparencia de datos.

[Conclusión/Perspectivas] El futuro requiere acelerar operaciones no tripuladas y construcción de plataformas de intercambio de información, mejorar la resistencia de la cadena de suministro a través del empoderamiento tecnológico, y promover gestión refinada para fortalecer la competitividad internacional. En términos de modelos industriales, se debe profundizar la transformación baja en carbono, promoviendo energía limpia, empaquetado verde y logística inteligente para alinearse con objetivos de "doble carbono". Las aplicaciones tecnológicas actuales aún enfrentan desafíos como gobernanza de datos y estandarización insuficiente, requiriendo orientación política para establecer estándares técnicos, aumentar inversión en I+D y fortalecer innovación colaborativa entre campos para promover actualizaciones inteligentes, proporcionando apoyo para desarrollo agrícola sostenible y seguridad alimentaria global.

Palabras clave: productos agrícolas; cadena de suministro inteligente; Internet de las Cosas; inteligencia artificial; blockchain; doble carbono

1. Introducción

Los productos agrícolas, como materiales fundamentales para la supervivencia y desarrollo humanos, tienen estabilidad y eficiencia de cadena de suministro directamente relacionadas con la seguridad alimentaria, desarrollo agrícola sostenible e intereses vitales de los agricultores. Las cadenas de suministro tradicionales de productos agrícolas abarcan múltiples eslabones incluyendo producción, procesamiento, almacenamiento, transporte y ventas. Debido a numerosos eslabones, escenarios complejos y fuerte sensibilidad temporal, existen muchos problemas como asimetría de información, altos costos logísticos y trazabilidad de calidad difícil de productos agrícolas.

Con el rápido desarrollo de tecnología de información de nueva generación y su aplicación generalizada en varios campos, la transformación inteligente de cadenas de suministro de productos agrícolas se ha convertido en una tendencia inevitable del desarrollo social. Esto

no solo ayuda a mejorar la eficiencia de la cadena de suministro y garantizar la calidad y seguridad de productos agrícolas, sino que también satisface la demanda del mercado de productos agrícolas de alta calidad, además promueve aumento de producción e ingresos para agricultores, impulsa el proceso de modernización agrícola y mejora la competitividad internacional de los productos agrícolas de China.

2. Connotación de Cadenas de Suministro Inteligentes de Productos Agrícolas

En 1982, Oliver Williamson, figura representativa de la nueva economía institucional, propuso sistemáticamente por primera vez el término "Cadena de Suministro" en su obra clásica "Mercados y Jerarquías: Análisis e Implicaciones Antimonopolio". Esta definición inicial se centró en analizar formas organizacionales de relaciones de transacción entre empresas.

Después de más de diez años de desarrollo, el Consejo de Cadena de Suministro (SCC) lanzó el modelo histórico de Referencia de Operaciones de Cadena de Suministro (SCOR) en 1996, definiendo claramente por primera vez la cadena de suministro como "un sistema de estructura de red centrado en empresas núcleo, logrando control integrado desde aprovisionamiento de materias primas hasta entrega al usuario final a través del control de integración de flujo de información, logística y flujo de capital".

En el campo de productos agrícolas, las cadenas de suministro de productos agrícolas se refieren específicamente a sistemas de red de múltiples entidades centrados en productos agrícolas primarios, consistiendo en eslabones de producción, procesamiento, almacenamiento, transporte, distribución y ventas. Combinado con prácticas de transformación inteligente de cadenas de suministro globales, las cadenas de suministro inteligentes de productos agrícolas pueden definirse como: formas innovadoras de cadena de suministro que dependen de tecnologías de información modernas y equipos inteligentes como IoT, big data, blockchain e IA, logrando producción y procesamiento precisos, distribución logística eficiente, servicios de marketing inteligente y trazabilidad de calidad confiable a través de recolección de datos de proceso completo, toma de decisiones inteligente y optimización dinámica.

3. Tecnologías Clave en Varios Eslabones de Cadenas de Suministro Inteligentes de Productos Agrícolas

3.1 Tecnologías Clave en Eslabones de Producción

El eslabón de producción en cadenas de suministro de productos agrícolas, como punto de partida de cadenas de suministro inteligentes, involucra múltiples aspectos incluyendo preparación de tierra y recursos agrícolas, gestión de proceso de siembra o cría, control de ambiente de campo o cría, y cosecha. Actualmente, tecnologías como IoT, big data, IA, blockchain y teledetección muestran gran potencial de aplicación en este eslabón.

Tecnología IoT para Monitoreo en Tiempo Real y Recolección de Datos: La tecnología IoT logra monitoreo en tiempo real y recolección de datos de parámetros ambientales como humedad del suelo, temperatura, intensidad de luz y condiciones de plagas a través de varios sensores desplegados en tierras de cultivo, proporcionando base científica para decisiones posteriores de producción agrícola.

Tecnología de Procesamiento y Análisis de Minería de Big Data: La tecnología de big data proporciona monitoreo de riesgos integral y soluciones de optimización de recursos para producción agrícola integrando datos masivos recolectados por IoT y usando técnicas de análisis y minería de datos, asistiendo en toma de decisiones agrícolas de precisión.

Tecnología de Decisión Inteligente Asistida por IA: A través de integrar análisis fenotípico de alto rendimiento, tecnología de teledetección y redes de sensores inalámbricos, la IA puede analizar datos de crecimiento de cultivos en tiempo real, optimizando estrategias de fertilización, irrigación y manejo de plagas.

3.2 Tecnologías Clave en Eslabones de Procesamiento

Siguiendo el eslabón de producción, el eslabón de procesamiento de productos agrícolas es una parte indispensable de cadenas de suministro inteligentes, dirigido al tratamiento físico, químico o biológico apropiado de productos agrícolas, como limpieza, clasificación, gradación, secado y empaquetado, para extender su vida útil, optimizar apariencia y facilitar almacenamiento, transporte y ventas posteriores.

Nuevas Tecnologías de Limpieza y Esterilización: Los métodos de limpieza tradicionales tienen problemas como limpieza incompleta y contaminación secundaria fácil. Por lo tanto, nuevas tecnologías de limpieza y esterilización se han convertido en focos de investigación.

Clasificación y Gradación Inteligente: Visión por computadora, imágenes hiperespectrales, espectroscopía de infrarrojo cercano, aprendizaje profundo y robótica se usan para lograr gradación y clasificación inteligente, detección de defectos, evaluación nutricional y empaquetado de productos agrícolas.

3.3 Tecnologías Clave en Eslabones de Almacenamiento

El eslabón de almacenamiento sirve como puente intermedio en cadenas de suministro de productos agrícolas, estrechamente conectado al eslabón de procesamiento, jugando papel clave en conectar etapas precedentes y siguientes, responsable del almacenamiento y custodia apropiados de productos procesados, asegurando su calidad y seguridad, y estableciendo la base para transporte y ventas posteriores.

Aplicaciones de Tecnología IoT: Usando tecnología IoT, monitoreo en tiempo real de parámetros como temperatura, humedad y concentración de gas en almacenes, así como frescura y residuos de pesticidas de productos agrícolas, asegura calidad y seguridad del producto.

Tecnología IA para Optimización de Inventarios: La tecnología IA puede optimizar asignación de almacenes a través de algoritmos genéticos de mapeo espacial, reduciendo costos y tiempo de almacenamiento.

3.4 Tecnologías Clave en Eslabones de Transporte

El eslabón de transporte sirve como eslabón clave en cadenas de suministro de productos agrícolas, estrechamente conectado al eslabón de almacenamiento, asegurando conjuntamente circulación fluida de productos agrícolas desde producción hasta consumo.

3.5 Tecnologías Clave en Eslabones de Distribución

El eslabón de distribución sirve como la "última milla" de cadenas de suministro de productos agrícolas, conectándose estrechamente con eslabones de almacenamiento y

transporte.

3.6 Tecnologías Clave en Eslabones de Ventas

El eslabón de ventas está estrechamente conectado al eslabón de distribución, formando conjuntamente el puente final desde áreas de producción hasta consumidores.

3.7 Tecnología de Supervisión y Trazabilidad Confiable

La tecnología de supervisión y trazabilidad confiable corre a través de todos los eslabones de cadenas de suministro de productos agrícolas, desde producción y procesamiento hasta almacenamiento, transporte y ventas.

4. Desafíos y Recomendaciones para Tecnologías Emergentes en Cadenas de Suministro Inteligentes de Productos Agrícolas

4.1 Desafíos de Tecnología IA

- **Defectos del Sistema de Gobernanza de Datos:** Defectos estructurales en sistemas de gobernanza de datos
- **Cuellos de Botella de Integración Tecnológica:** Obstáculos de compatibilidad entre algoritmos IA y sistemas de hardware heterogéneos
- **Retraso en Estandarización:** Falta de marcos de estandarización a través de niveles

4.2 Desafíos de Tecnología Robótica

- **Precisión de Percepción y Reconocimiento:** Necesidad de mejora en ambientes de trabajo complejos y variables
- **Flexibilidad de Operación:** Necesidad de mejora en operaciones de precisión
- **Capacidades de Comunicación y Colaboración:** Necesidad de mejora en trabajo coordinado

4.3 Desafíos de Tecnología de Nueva Energía

- **Altos Costos de Inversión Inicial:** Altos costos de adquisición para equipos de nueva

energía

- **Estabilidad Tecnológica:** Susceptibilidad a factores naturales que afectan operación continua
- **Deficiencias de Apoyo de Infraestructura:** Instalaciones de apoyo incompletas

4.4 Desafíos de Tecnología de Nuevos Materiales

- **Contradicciones de Rendimiento vs. Costo:** Plásticos biodegradables de base biológica tienen limitaciones de rendimiento
- **Verificación de Seguridad y Efectividad:** Incertidumbres de impacto en salud a largo plazo
- **Precisión de Información y Durabilidad:** Interferencia de sensores y problemas de durabilidad de materiales

5. Direcciones de Desarrollo Futuro para Cadenas de Suministro Inteligentes de Productos Agrícolas

5.1 Operaciones No Tripuladas en Procesos Operacionales

Las operaciones no tripuladas en cadenas de suministro de productos agrícolas son elecciones inevitables para abordar escasez de mano de obra, mejorar eficiencia industrial y estandarización.

5.2 Sistemas de Gestión Lean

La gestión lean de sistemas de gestión de cadenas de suministro de productos agrícolas es una elección inevitable para mejorar eficiencia de utilización de recursos, asegurar calidad del producto y mejorar competitividad del mercado.

5.3 Modelos Industriales Bajos en Carbono

La transformación baja en carbono de cadenas de suministro de productos agrícolas es la vía central para abordar cambio climático y lograr desarrollo agrícola sostenible.

Conclusión

Las cadenas de suministro inteligentes de productos agrícolas representan la dirección futura del desarrollo agrícola, requiriendo avance coordinado en dimensiones de "tecnología-gestión-modelo". A través de soluciones sistemáticas incluyendo operaciones no tripuladas, gestión lean y modelos bajos en carbono, se puede lograr la actualización inteligente integral de cadenas de suministro de productos agrícolas, contribuyendo finalmente a la modernización agrícola y desarrollo sostenible.

Declaración de Conflicto de Intereses: Esta investigación no tiene conflictos de interés involucrando investigadores y resultados de investigación divulgados públicamente.

Formato de citación: HAN Jiawei, YANG Xinting. Cadenas de Suministro Inteligentes para Productos Agrícolas: Tecnologías Clave, Progreso de Investigación y Dirección Futura[J]. Agricultura Inteligente, 2025, 7(3): 1-16.